

В этом выпуске:

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### *Симметрия большой системы как независимость составляющих ее подсистем*

В физике о свойствах большой системы обычно судят на основании наблюдений за малой ее частью, доступной для экспериментов. Например, если лабораторные исследования показывают, что атом водорода поглощает излучение с определенной длиной волны, то из этого делается вывод, что таким же образом ведут себя и все другие атомы водорода во Вселенной. Иными словами, мы считаем, что ограниченного числа локальных экспериментов достаточно, чтобы открыть общие физические законы. Однако такую парадигму, играющую ключевую роль в интерпретации экспериментальных данных, экспериментально доказать нельзя. Поэтому возникает вопрос, может ли она быть обоснована теоретически, и если да, то какие для этого нужно сделать предположения?

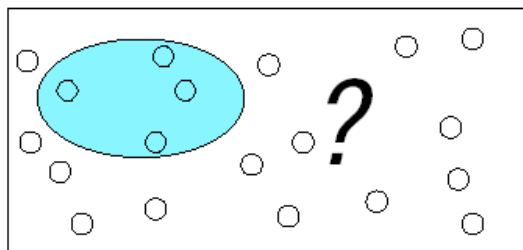


Рис.1. Томография. Если система состоит из большого числа подсистем (маленькие кружки), задача состоит в определении характеристик системы на основании наблюдений только за ее малой частью (овал).

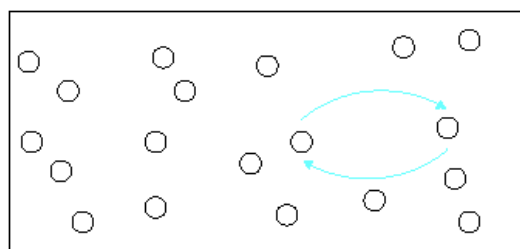
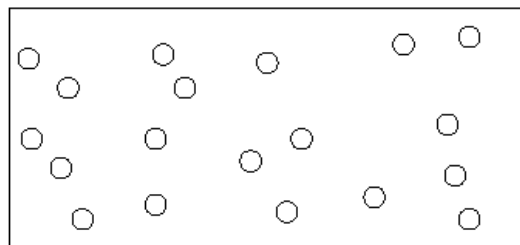


Рис.2. Симметрия. Если все подсистемы неразличимы, то состояние большой системы симметрично, то есть инвариантно относительно перестановок подсистем.

=



Для ответа на этот вопрос в работе [1] рассмотрена абстрактная "задача томографии" (рис.1): если система состоит из  $N \gg 1$  подсистем, то возможно ли, проводя эксперименты с  $k \ll N$  случайно выбранными подсистемами, определить состояние остальных  $N-k$  подсистем? В работе [1] показано, что для решения данной задачи нужно сделать одно-единственное предположение, а именно – что система является симметричной по отношению к составляющим ее подсистемам. Здесь под симметрией автор [1] понимает неизменность свойств системы при перестановке подсистем (рис.2).

И далее ...

- 2 Перепутывание удаленных одно-атомных кубитов

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 Синергетический рост нанопроводов

- 3 Дефекты в наночастицах

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 4 ВТСП для энергетики

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Двухслойные углеродные нанотрубки большого диаметра

- 6 Нанотрубки из изотопически обогащенного углерода

## ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 6 США увеличивают финансирование инноваций

- 7 Нанотехнологии: инвесторов стимулируют будущие применения

- 8 Научная сессия ОФН РАН  
31 октября 2007года

В рамках этого предположения большую систему можно анализировать, как если бы все ее подсистемы были независимыми и являлись точными копиями друг друга. Оставляя в стороне математические детали, отметим, что доказательство основано на теореме де Финетти [2], сформулированной 70 лет назад для распределений вероятностей случайных величин. Полученные в [1] результаты позволяют, в частности, обобщить ряд положений квантовой теории информации и квантовой криптографии.

1. R. Renner, *Nature Phys.* **3**, 645 (2007).
2. B. de Finetti, *Ann. Inst. H. Poincaré* **7**, 1 (1937).

### Перепутывание удаленных одноатомных кубитов

Квантовая информатика – это наука о хранении, обработке и передаче информации, закодированной в квантовые системы, которые (в отличие от классических) могут находиться в суперпозиционных и запутанных состояниях. Для организации серьезных квантовых вычислений нужно иметь в распоряжении устойчивую "квантовую память" (набор квантовых битов – кубитов) с возможностью покубитной адресации, а также научиться передавать квантовую информацию из одного регистра памяти в другой и перепутывать состояния кубитов из различных регистров, находящихся на макроскопическом (или даже "географическом") расстоянии друг от друга. Для квантовых регистров лучше всего подходят атомные системы, поскольку внутренние электронные состояния атомов способны сохранять когерентность в течение сравнительно длительного времени, достаточного для проведения вычислений. С другой стороны, оптимальными "переносчиками" квантовой информации между удаленными друг от друга атомами-кубитами являются фотоны: они быстро преодолевают большие расстояния и тоже мало подвержены эффектам декогерентизации. Недавно был достигнут существенный прогресс в организации взаимодействия между атомными ансамблями посредством фотонов [1], включая наблюдение признаков запутанности состояний разных ансамблей [2,3].

В работе [4] американские физики из University of Michigan и University of Maryland впервые "перепутали" состояния двух *одиночных* ионов, находящихся в метре друг от друга. Для этого они использовали две магнитные ловушки, в каждую из которых помещали один ион  $^{171}\text{Yb}^+$ , охлажденный лазером до доплеровского предела. Роль базисных состояний  $|\downarrow\rangle$  и  $|\uparrow\rangle$  кубитов играли состояния ионов с полным угловым моментом  $F = 0$  и 1, соответственно, и нулевой проекцией этого момента на ось квантования, определяемую направлением магнитного поля. После облучения иона (приготовленного в состоянии  $|\downarrow\rangle$ ) лазерным импульсом

длительностью 2 пс он переходил в возбужденное состояние (со временем жизни около 8 нс), которое затем покидал, переходя в состояние  $|\downarrow\rangle$  или  $|\uparrow\rangle$  и испуская с фотон с частотой, соответственно,  $\nu_\downarrow$  или  $\nu_\uparrow$  (эти частоты различаются на 12.6 ГГц из-за различия энергий состояний  $|\downarrow\rangle$  и  $|\uparrow\rangle$ ). В результате формировалось запутанное состояние иона и фотона  $(|\uparrow\rangle_a|\nu_\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle_a|\nu_\downarrow\rangle)/\sqrt{2}$ . Поступая так одновременно с каждым ионом ( $a$  и  $b$ ), авторы [4] затем регистрировали состояния фотонов, в результате чего двухкубитное состояние проектировалось на одно из максимально запутанных белловских состояний (эксперимент ставился так, что в итоге получалось состояние  $(|\uparrow\rangle_a|\downarrow\rangle_b - |\downarrow\rangle_a|\uparrow\rangle_b)/\sqrt{2}$ ). Измерения показали, что надежность (*fidelity*) формирования именно этого состояния составляет  $0.63 \pm 0.03$ .

Существенным недостатком использованного в работе [4] метода перепутывания атомных состояний является его вероятностный характер. Вероятность успешного создания запутанного состояния зависит от эффективности генерации каждым атомом единичных фотонов в соответствующей моде и вероятности их последующей регистрации. Она очень мала и в каждой попытке составляла всего лишь  $3.6 \cdot 10^{-9}$ , так что при повторении всей процедуры со скоростью  $5.5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  для получения запутанного состояния потребовалось около 10 минут. Тем не менее, авторы [4] полагают, что такой метод (после надлежащего усовершенствования) все-таки может быть использован в квантовых регистрах для нужд квантовой связи и квантовых вычислений.

Л. Опенов

1. L.-M.Duan et al. *Nature* **414**, 413 (2001).
2. B.Julsgaard et al. *Nature* **413**, 400 (2001).
3. C.W.Chou et al. *Nature* **438**, 828 (2005).
4. D.L.Moehring et al. *Nature* **449**, 68 (2007).

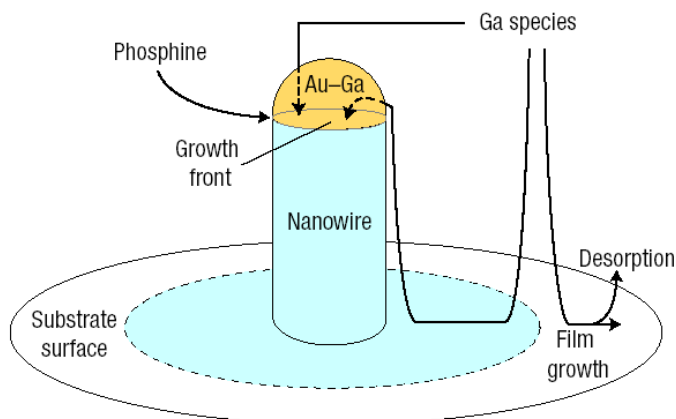
## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Синергетический рост нанопроводов

Нанопровода (НП) – это квазиодномерные кристаллы длиной несколько микрон и диаметром (5 ÷ 100) нм. Их предполагается использовать в различных датчиках, одноэлектронных транзисторах, эмиттерах излучения и других устройствах нанoeлектроники. В связи с этим большое внимание уделяется совершенствованию технологии изготовления НП. В качестве затравки для синтеза полупроводниковых НП (GaAs, InP и т.д.) обычно используют наночастицы Au. В процессе роста, который происходит перпендикулярно подложке, НП "поднимает" наночастицу вверх (см. рис.). При этом диаметр НП определяется поперечными размерами наночастицы. Сотрудники Philips Research Laboratories (Эйндховен, Голландия) неожиданно

*Перст*, 2007, том 14, выпуск 18

(вопреки предсказаниям теории) обнаружили, что скорость роста НП GaP резко возрастает при уменьшении расстояния между наночастицами Au от 3 мкм до 0.8 мкм [1]. Сами авторы полагают, что это связано с каталитическим воздействием Au-Ga на разложение паров  $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ . Такой рост НП они называют "синергетическим". Одной из его отличительных особенностей является то, что тонкий НП растет быстрее, если он соседствует с толстым НП. Синергетический режим может быть использован для выращивания НП и из других полупроводниковых материалов.



Рост нанопроводов GaP с использованием наночастиц Au в качестве затравок. При взаимодействии наночастиц с парами органических веществ, содержащих Ga, образуется сплав Au-Ga, который пересыщен галлием, что приводит к выделению кристаллического GaP на границе раздела наночастица/подложка и к росту нанопровода перпендикулярно подложке.

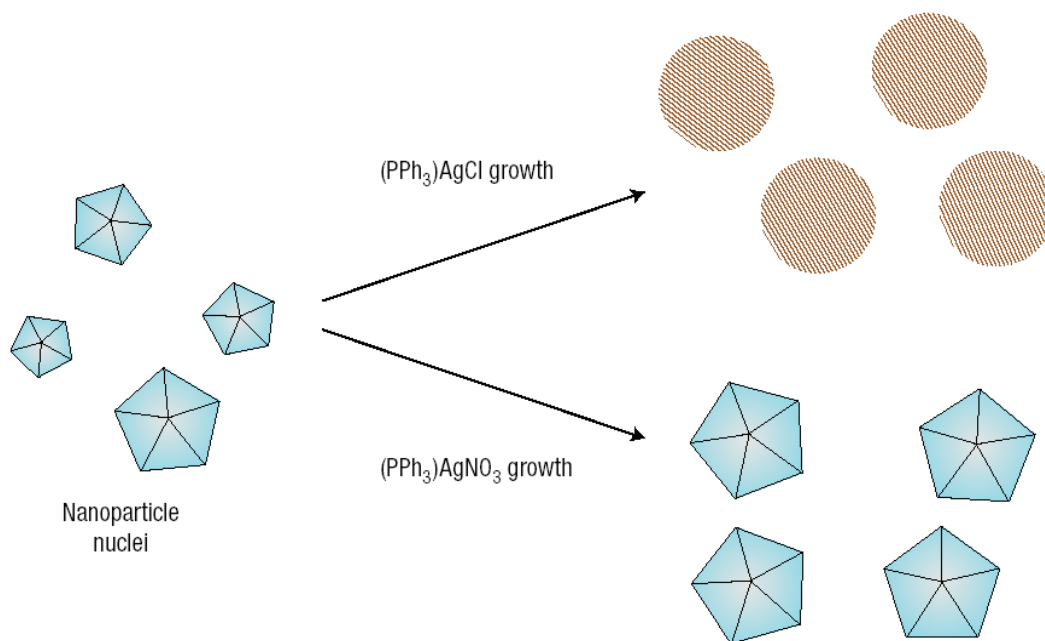
Л. Оленов

1. M.T.Borgstrom et al. *Nature Nanotechnol.* **2**, 541 (2007).

## Дефекты в наночастицах

Физические свойства металлических наночастиц (НЧ) часто очень сильно отличаются от свойств объемных образцов того же самого материала (например, уменьшение размеров частицы приводит к уменьшению ее температуры плавления). Технологи научились изготавливать НЧ различных размеров, формы и химического состава. А вот контролировать число и тип дефектов в НЧ они пока не умеют. Поэтому в вопросе о влиянии дефектов на характеристики НЧ до сих пор остается много белых пятен. Между тем известно, что наличие дефектов может приводить к весьма существенному изменению свойств НЧ. К примеру, дефектные НЧ золота термодинамически более устойчивы.

В работе [1] сотрудники University of Maryland (США) разработали технологию, которая позволяет контролируемым образом изготавливать НЧ серебра, имеющие одинаковый размер, но при этом являющиеся либо монокристаллическими, либо содержащими большое количество двойников – областей с различной ориентацией кристаллографических осей. Границы раздела между такими областями являются дефектами особого рода (так называемыми дефектами двойникования). Эта технология основана на использовании для синтеза НЧ различных полимерных прекурсоров, а именно – трифенилфосфина серебра  $(\text{PPh}_3)_3\text{Ag-R}$  с разными функциональными группами  $\text{R} = \text{Cl}$ , и  $\text{R} = \text{NO}_3$ . Если при  $\text{R} = \text{NO}_3$  из зародышей вырастают двойникованные НЧ, то при  $\text{R} = \text{Cl}$  – бездвойниковые (см. рис.).



Рост бездвойниковых и двойникованных наночастиц серебра из различных прекурсоров.

Связано это со специфической особенностью ионов  $\text{Cl}$  блокировать образование двойников. Средний размер и тех и других НЧ составил  $(10.5 \pm 0.4) \text{ нм}$ .

Исследования показали, что физико-химические свойства этих двух типов НЧ существенно различаются. Например, при взаимодействии с селеном из бездвойниковых НЧ получались полые НЧ  $\text{Ag}_2\text{Se}$ , а из двойникованных – сплошные однородные НЧ. Это объясняется тем, что различие коэффициентов диффузии атомов  $\text{Ag}$  и  $\text{Se}$  по кристаллической решетке способствует формированию вакансий (скопление которых в итоге и образует полость внутри НЧ), тогда как атомы  $\text{Se}$ , перемещающиеся не по решетке, а по границам двойников, легко проникают в разделенные этими границами области  $\text{Ag}$ , в результате чего образуется однородная НЧ  $\text{Ag}_2\text{Se}$ . Далее, в двойникованных НЧ имеет место гораздо более быстрое охлаждение электронной подсистемы после воздействия лазерного импульса (вследствие передачи энергии решетке). Это говорит о том, что границы двойников усиливают электрон-фононное взаимодействие, которое, следовательно, можно регулировать путем изменения концентрации дефектов в НЧ. Любопытно, что модуль упругости бездвойниковых НЧ (определенный по периоду их радиальных колебаний после облучения лазером) оказался на треть меньше, чем у двойникованных НЧ (это, впрочем, согласуется с имеющимися в литературе данными атомной силовой микроскопии об увеличении прочности серебряных нанопроводов после двойникования). Напротив, исследования оптических характеристик показало, что резонансный отклик локализованных поверхностных плазмонов (LSPR) в кристаллических НЧ гораздо сильнее. А поскольку LSPR очень чувствителен к внешнему окружению, то именно бездвойниковые НЧ лучше подходят для использования в датчиках газов. Таким образом, оптимальная степень дефектности НЧ определяется тем, где именно эти НЧ мы хотим использовать и какие конкретно устройства собираемся из них изготовить. Где-то нанокристалличность хороша, а где-то и нет...

*Л. Опенов*

1. Y.Tang, M.Ouyang, *Nature Mater.* **6**, 754 (2007).

## **СВЕРХПРОВОДНИКИ** **ВТСП для энергетики**

Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП), "рожденные" в 1986 году Беднорцем и Мюллером, недавно разменяли третий десяток. Первое десятилетие было посвящено как исследованию их фундаментальных характеристик (этот период ознаменовался открытием многих новых семейств ВТСП, и критическая температура  $T_c$  подросла до 135 К), так и попытками их практического применения, пока в масштабах лаборатории на уровне опытных образцов. Во втором десятилетии свет увидели уже

первые промышленные устройства и изделия из ВТСП. Высокая  $T_c$  дала возможность использовать для охлаждения ВТСП (в отличие от давно известных низкотемпературных сверхпроводников) не дорогой жидкий гелий, а сравнительно дешевый жидкий азот. Поскольку при  $T < T_c$  электрический ток течет по сверхпроводнику без сопротивления, то передача электроэнергии не по медным, а по сверхпроводящим проводам позволяет избежать потерь, которые в современных электрических сетях достигают 10%. Кроме того, ВТСП-провода гораздо более компактные, что играет немаловажную роль в условиях мегаполисов. В США уже сданы в эксплуатацию две распределительные системы из ВТСП-кабелей длиной 200 и 350 метров (рис.1). Сейчас ведутся работы по сооружению еще одной подстанции, в которой будет задействован ВТСП-кабель длиной 600 метров. Помимо электрических сетей ВТСП-кабели предполагается использовать, например, в обмотках катушек-роторов корабельных двигателей. Первый такой двигатель мощностью 36.5 МВт (рис.2) уже прошел испытания и поступил в распоряжение военно-морских сил США. Если ток через сверхпроводник превышает критическую величину  $I_c$ , то образец переходит в нормальное состояние, и его сопротивление становится отличным от нуля. Это можно использовать для защиты различных силовых устройств и электрических сетей от короткого замыкания. Ограничители тока из ВТСП-кабелей, рассчитанные на мощность несколько МВт, к настоящему времени изготовлены уже несколькими фирмами.

Несмотря на впечатляющий прогресс, широкому использованию ВТСП в энергетике препятствует высокая стоимость изготовления и эксплуатации ВТСП-систем. Например, цена одного метра ВТСП-провода первого поколения (1G) составляет от 15 до 20 долларов. Для трехфазного кабеля, способного пропускать ток 3000 А, нужно около 150 проводов, и в итоге один километр такого кабеля обходится в кругленькую сумму от 1.5 до 3 миллионов долларов. А ведь его потом надо будет еще и охлаждать! Пусть не гелием, а азотом, но и это влетает в копейчку (а точнее – пока еще в центик ...). Сейчас большие надежды возлагаются на ВТСП-провода второго поколения (2G), представляющие собой тонкие пленки ВТСП на гибких текстурированных подложках. Их стоимость, возможно, удастся понизить до 5-10 долларов за метр. Кроме того, более высокие  $I_c$  2G-проводов позволят увеличить их "пропускную способность" и уменьшить динамические потери энергии.

Сейчас работы по разработке и внедрению ВТСП-систем не приносят прибыли, поэтому практически все они финансируются (полностью или частично) государством, то есть ВТСП живут на деньги налогоплательщиков. Чтобы привлечь к ВТСП частный капитал, нужно как минимум довести суммарную

(с учетом эксплуатационных расходов) стоимость ВТСП-изделий до уровня их несверхпроводящих аналогов. К этому все идет, и помешать здесь мо-

жет разве что ... открытие новых, комнатнотемпературных сверхпроводников. По материалам заметки [1].



Рис.1.  
ВТСП-кабель длиной 200 метров на электрической подстанции в США [1].

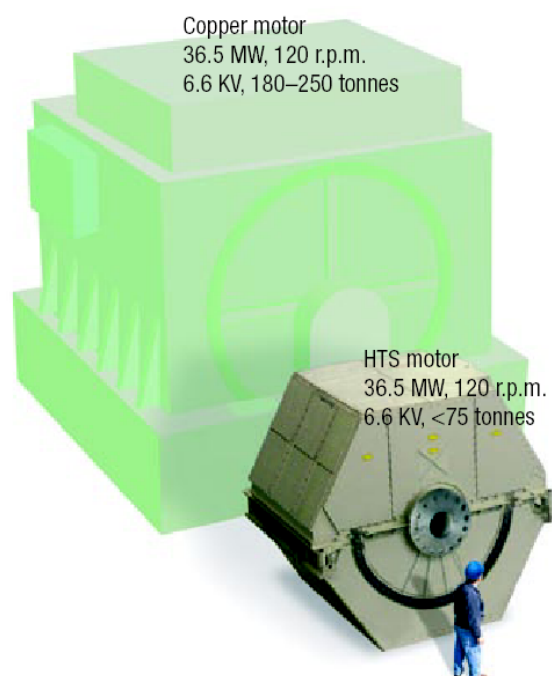


Рис.2. Схематическое изображение корабельных двигателей на основе медных и ВТСП проводов [1].

1. A.P. Malozemoff, *Nature Mater.* **6**, 617 (2007).

## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### Двухслойные углеродные нанотрубки большого диаметра

Разнообразие углеродных наноструктур пополнилось еще одним интересным объектом. Это двухслойные углеродные нанотрубки (УНТ) сверхбольшого диаметра, синтезированные недавно в *Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York* (США). Вертикально упорядоченные пленки таких УНТ были синтезированы методом химического осаждения паров (CVD). Катализатором служил слой железа толщиной 1–5 нм, напыленный с помощью электронного пучка на кремниевую подложку, покрытую буферным слоем Al. В качестве

углеродсодержащего газа выступал этилен, подмешиваемый к потоку  $\text{Ar}/\text{H}_2$  состава 85:15. В некоторых экспериментах поток  $\text{Ar}/\text{H}_2$  перед смешением с этиленом пропускали через сосуд с водой при комнатной температуре. Синтез УНТ проводили при температуре 700–800°C в течение 5–1800 с. Полученные образцы УНТ изучали с помощью сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов, а также с помощью спектрометра комбинационного рассеяния. Наблюдения показали, что в результате синтеза продолжительностью 30 мин образуется вертикально упорядоченный массив двухслойных УНТ высотой около 1 мкм. При этом максимальное содержание двухслойных УНТ в массиве достигается при толщине каталитического слоя, равной 1.5 нм. Нанотрубки отличаются высокой степенью чистоты и практически не содержат ни частиц железа, ни частиц аморфного углерода в виде примесей. Средний диаметр нанотрубок составляет 7.9 нм, что более чем вдвое превышает его максимальную величину, наблюдавшуюся другими авторами. Важной особенностью полученных массивов двухслойных УНТ является аномально низкая плотность этого материала, составляющая, согласно измерениям,  $0.015 \pm 0.002 \text{ г/см}^3$ . Это примерно вдвое ниже величин, измеренных ранее для массивов однослойных и двухслойных УНТ, что позволяет рассматривать данный объект как наиболее легкий из синтетических материалов. Причина столь низкой плотности массива состоит в значительном среднем расстоянии между нанотрубками, которое составляет, согласно оценкам, 50 нм и соответствует поверхностной плотности нанотрубок в массиве около  $400 \text{ мкм}^{-2}$ . Наблюдения указывают также на значительные отклонения двухслойных УНТ от формы идеального цилиндра, присущей однослойным нанотрубкам или двухслойным УНТ малого диаметра. Нанотрубки по большей части изогнуты, смяты и

содержат немало структурных дефектов. Результаты исследований указывают на высокую гидрофобность полученных пленок УНТ. Угол смачивания зависит от толщины каталитического слоя и изменяется в диапазоне от 137° до 100°. Отмечается, что гидрофобные пленки двухслойных УНТ могут найти применение в некоторых областях медицины.

*А.В.Елецкий*

1. *L.Ci, R.Vajtai, P.M.Ajayan J. Phys. Chem. C 111, 9077 (2007).*

### **Нанотрубки из изотопически обогащенного углерода**

Несмотря на многочисленные исследования механизмов образования и особенностей поведения углеродных нанотрубок (УНТ), многие вопросы до сих пор остаются без ответа. В частности, продолжает вызывать дискуссии механизм роста УНТ в различных условиях, а без понимания этого механизма вряд ли можно рассчитывать на развитие эффективных методов синтеза УНТ и их широкое использование. Трудности, стоящие на пути таких исследований, связаны в первую очередь с миниатюрными размерами УНТ, в силу чего использование традиционных методов физических измерений не позволяет получить полную картину объекта. Один из способов преодоления указанных трудностей и получения дополнительной информации о свойствах и механизмах роста нанотрубок, был развит группой исследователей из нескольких институтов Будапешта и Венского университета и основан на применении изотопически обогащенных образцов [1]. Такой подход уже хорошо себя зарекомендовал ранее при изучении механизма роста фуллеренов и привел к выводу о том, что образование фуллеренов происходит вследствие конденсации атомов углерода, а не фрагментов графитовой поверхности.

Для получения изотопически обогащенных нанотрубок использовали известный эффект превращения (в результате нагрева) «стручка», представляющего собой нанотрубку, заполненную молекулами фуллерена, в двухслойную нанотрубку. При заполнении стручка молекулами фуллерена различного изотопного состава это приводит к тому, что внутренняя нанотрубка оказывается изотопически обогащенной. Для получения стручков использовали однослойные УНТ со средним диаметром 1.4 нм и чистотой около 50%, которые заполняли молекулами фуллеренов  $C_{60}$  или  $C_{70}$  либо естественного изотопного состава, либо обогащенными по изотопу  $^{13}C$ . Степень обогащения фуллеренов по изотопу  $^{13}C$  составляла либо 28%, либо 82%. Изотопически обогащенные фуллерены представляли собой смесь  $C_{60}$ : $C_{70}$ :высшие фуллерены в пропорции 75%:20%:5% либо 12%:88%:1%. С целью заполнения УНТ фуллеренами образцы выдерживали в течение 2 ч в отпаянной ампуле при

650°C. Было получено два типа стручков: стручки первого типа, однородно заполненные изотопически обогащенными фуллеренами, а стручки второго типа, заполненные смесью (1:1) фуллеренов, обогащенных на 28% по изотопу  $^{13}C$  с чистым фуллереном  $C_{60}$  естественного изотопного состава (смешанное заполнение). Заполненные фуллеренами нанотрубки исследовали с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения, рентгеновского дифрактометра, а также спектрометра комбинационного рассеяния (КР). В результате вакуумного прогрева в течение 2 ч при 1250°C стручки превращались в двухслойные нанотрубки, которые изучали с помощью спектрометра КР. Эти измерения указывают на различный характер уширения линий КР для образцов с однородным и смешанным заполнением. Так, ширина линий КР для образцов со смешанным заполнением существенно превышает соответствующую величину для образцов с однородным заполнением. Подобный результат влечет за собой вывод о том, что преобразование стручка в двухслойную нанотрубку происходит без существенного перемешивания атомов, принадлежащих соседним стручкам. Тем самым синтез нанотрубки из молекул фуллеренов происходит не из отдельных атомов, как это имеет место в случае синтеза молекул фуллеренов из графита, а в результате структурного преобразования больших фрагментов молекул.

*А.В.Елецкий*

1. *V. Zolyomi et al. Phys. Rev. B 75, 195419 (2007).*

### **ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК США увеличивают финансирование инноваций**

Правительство США призывает Конгресс поддержать предложение об увеличении федеральных расходов на исследования в таких прорывных направлениях как нанотехнологии, суперкомпьютеры и альтернативные источники энергии. Планируется выделить до 43 млрд. долл. в течение 2008-2010 г.г. для поддержки инноваций и удвоить бюджет Национального научного фонда (NSF) на фундаментальные исследования в области физических наук. Планируется также усилить преподавание математики в начальных и средних школах, создать новое федеральное агентство по продвижению энергетических проектов и фонд для поддержки преподавателей высших школ при подготовке новых перспективных курсов по математике, физике и иностранным языкам [1].

1. *Small Times Magazine 7, no. 5 (2007).*

[http://www.smalltimes.com/articles/article\\_display.cf?m?Section=ONART&C=RD&ARTICLE\\_ID=303151&p=109](http://www.smalltimes.com/articles/article_display.cf?m?Section=ONART&C=RD&ARTICLE_ID=303151&p=109)

## ***Нанотехнологии: инвесторов стимулируют будущие применения***

Нанотехнология делает первые шаги из лабораторий. Становится очевидным, что в ближайшие 20 лет нанотехнология широко внедрится в производство потребительских товаров, что вызывает интерес инвесторов. В течение 1997-2005 г.г. суммарные инвестиции в нанотехнологии в мире увеличились почти в 9 раз, от 432 млн. долл. до 4.2 млрд. долл.

Впервые скоординированные усилия по продвижению нанотехнологий предприняли в США - в 1996г. несколько федеральных Агентств сформулировали новые долгосрочные цели фундаментальных исследований в рамках Национальной нанотехнологической инициативы (NNI). В период 1997-2003 г.г. в рамках этой инициативы в глубокие фундаментальные исследования было инвестировано более 2700 млн. долл.

Фактически американцы ввели в обиход термин - нанотехнологии, обобщивший уже ведущиеся в то время широким фронтом научные исследования, вызванные появлением соответствующего инструментария, в частности, сканирующих зондовых микроскопов. Невольно новый термин оказался и удачным пиаровским ходом, ибо он не формулирует конкретной задачи, а предполагает с применением единого инструментария решения широкого спектра задач в самых разных областях человеческой деятельности. Что имеется в виду?

Из-за междисциплинарного характера нанотехнологий перечень возможных областей их применения может быть очень велик. Вот только несколько примеров. Это - промышленное производство, медицина, охранные и оборонные устройства, устройства генерации и хранения электроэнергии, транспорт, связь, вычислительная техника. Нанотехнология радикально изменит многие производственные процессы, допуская значительную экономию стратегических материалов и энергетических ресурсов, а также снижение вредных излучений и выбросов загрязнений. Многие производственные процессы будут оптимизированы за счет новых эффективных катализаторов, новых способов очистки воды. Нанoeлектроника сыграет роль в таких стратегических областях как информационные и коммуникационные технологии. В полупроводниковой промышленности технология КМОП пока сохраняет свои позиции, но, по мнению многих аналитиков, уже к 2020 году актуальны станут приборы с размерами 10нм (вероятнее, это будут приборы молекулярной электроники).

Новые наноматериалы будут обладать такими привлекательными свойствами, как малый вес, высокие теплоизоляция, электропроводность и поверхностная функциональность (например, будут созданы материалы с антибактерицидными свойствами

и самоупорядочивающиеся пористые материалы для магнитной памяти или поглощения радиолокационных сигналов). Ожидается также создание материалов для генерации и хранения электроэнергии - эффективных солнечных батарей и топливных водородных ячеек.

Уже в скором времени биомедицинская нанотехнология позволит разработать и массово производить дешевые наносенсоры, которые будут внедрены в повседневную жизнь - контроль качества воды, пищи и атмосферы в режиме реального времени в домах, офисах и на предприятиях. В медицине наносенсоры повысят качество диагностики, благодаря получению одновременно десятков различных данных о состоянии организма и обработке их в реальном времени с помощью электронных чипов. Наносенсоры станут незаменимы и эффективны в охранных системах для предотвращения взрывов и биоугрозы.

Отсюда и пошла охватившая весь мир нанопанэпидемия - для любой цели можно сформулировать актуальное решение с применением нанотехнологий.

В 2003 г. Правительство США разместило в нанотехнологические исследования и разработки 4.37 млрд. долл. на четырехлетний период. По оценкам, суммарные бюджетные расходы США в 2006 году составили 6 млрд. долл. Чтобы оценить общую активность в США, следовало бы к этим федеральным расходам приплюсовать немалые расходы правительств отдельных штатов, а также таких компаний-гигантов, как Motorola, Intel, Hewlett-Packard, IBM.

В промышленных азиатских странах, как и в США, в нанотехнологии инвестируют и правительственные агентства и частный сектор. Тайвань и Корея стремятся сохранить за собой признанные позиции мировых технологических мастерских не только в сегодняшних микро-, но и в завтрашних нанотехнологиях. Япония в период 1997-2003 г.г. инвестировала в продвижение нанотехнологий 2850 млн.долл. (т.е., больше, чем США). Недавно к наногонке подключился Китай с миллионными инвестициями, для развития нанотехнологий формируются коалиции из университетов и промышленных компаний, планируется достичь мирового лидерства в наноматериалах.

Европа интенсивно продвигала нанотехнологии в рамках 6-ой и 7-ой Рамочных Программ - в период 2003-2006 г.г. инвестировано 1300 млн.евро.

Таблица 1. Оценочный мировой объем финансирования нанотехнологий в период 1997–2007 г.г. в **млн. долл./год.** (Таблица не отражает новых реалий России - создание госкорпорации “Роснанотех” и ожидаемые пятимиллиардные бюджетные инвестиции в нее).

|                     | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | Итого        |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Европа              | 126  | 151  | 179  | 200  | 225  | 400  | 650  | 950  | 1050 | -    | -    | <b>3931</b>  |
| Япония              | 120  | 135  | 157  | 245  | 465  | 750  | 810  | 875  | 950  | -    | -    | <b>4507</b>  |
| США                 | 116  | 190  | 255  | 270  | 422  | 604  | 862  | 989  | 1200 | 1351 | 1392 | <b>7651</b>  |
| Другие <sup>1</sup> | 70   | 83   | 96   | 110  | 380  | 520  | 511  | 900  | 1000 | -    | -    | <b>3670</b>  |
| Итого               | 432  | 559  | 687  | 825  | 1502 | 2274 | 2833 | 3714 | 4200 | -    | -    | <b>19759</b> |

<sup>1</sup> Другие: Австралия, Корея, Канада, Тайвань, Китай, Россия, Сингапур, Восточная Европа

1. *Phys. Status. Solidi A*, **204**, 1611, (2007)

### **Научная сессия ОФН РАН**

31 октября 2007 года в 15 часов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

(Ленинский просп., 53, главное здание, 3 этаж)

“Методы колебательно-волновой физики в задачах и приложениях нейронауки”

Программа:

1. Некоркин В.И. (ИПФ РАН)

Колебания и волны в нейродинамике

2. Безручко Б.П. (СФ ИРЭ РАН)

Моделирование и диагностика взаимодействия нелинейных колебательных систем по хаотическим временным рядам (приложения в нейрофизиологии)

Web: [www.gpad.ac.ru](http://www.gpad.ac.ru)

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой  
ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт»

Научный редактор К.Кугель

Ответственный редактор: И.Чугуева e-mail: [irina@issp.ras.ru](mailto:irina@issp.ras.ru)

В подготовке выпуска принимали участие: А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенов,

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>